



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 44 36 454 A 1

⑤1 Int. Cl.⁸:
G 01 R 15/00
G 01 R 19/00
G 01 R 29/12

②1 Aktenzeichen: P 44 36 454.7
②2 Anmeldetag: 12. 10. 94
④3 Offenlegungstag: 18. 4. 96

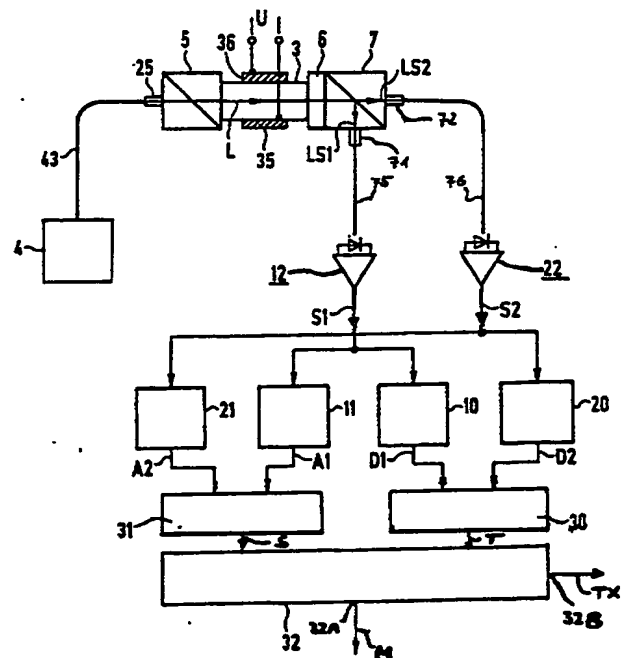
DE 44 36 454 A 1

⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:
Bosselmann, Thomas, Dr., 91054 Erlangen, DE

⑤4 Optisches Meßverfahren und optische Meßvorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselspannung oder eines elektrischen Wechselfeldes mit Temperaturkompensation durch AC/DC-Trennung

⑤7 Polarisiertes Meßlicht (L) wird nach Durchlaufen einer unter dem Einfluß der Wechselspannung oder des Wechselfeldes stehenden Pockels-Sensoreinrichtung von einem Analysator (7) in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale (LS1, LS2) mit unterschiedlichen Polarisationssebenen aufgeteilt. Die beiden Lichtteilsignale (LS1, LS2) werden photoelektrisch in jeweils ein elektrisches Intensitätssignal (S1, S2) umgewandelt. Aus Gleichsignalanteilen (D1 und D2) der beiden Intensitätssignale (S1, S2) wird ein Temperatursignal (T) für die Temperatur hergeleitet. Aus Wechselfeldsignalanteilen (A1, A2) der beiden Intensitätssignale (S1, S2) wird ein Auswertesignal (S) hergeleitet. Mit dem Auswertesignal (S) und dem Temperatursignal (T) wird ein weitgehend temperaturunabhängiges Meßsignal (M) ermittelt. Damit kann die Temperaturempfindlichkeit deutlich reduziert werden.



DE 44 36 454 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselspannung oder eines elektrischen Wechselfeldes. Unter einer Wechselspannung oder einem Wechselfeld wird dabei eine zeitlich veränderliche elektrische Spannung bzw. ein zeitlich veränderliches elektrisches Feld verstanden, deren jeweilige Frequenzspektren oberhalb einer vorbestimmten Grenzfrequenz liegen.

Es sind optische Meßverfahren und Meßvorrichtungen zum Messen elektrischer Spannungen und Felder bekannt, bei denen die Änderung der Polarisierung von polarisiertem Meßlicht in Abhängigkeit von der elektrischen Spannung oder dem elektrischen Feld infolge des elektrooptischen Pockels-Effekts ausgewertet wird. Unter dem elektrooptischen Pockels-Effekt versteht man die Änderung der Polarisierung von polarisiertem Meßlicht in einem den Pockels-Effekt aufweisenden Material infolge einer in dem Material induzierten linearen Doppelbrechung, die im wesentlichen über den elektrooptischen Koeffizienten linear abhängig von einem das Material durchdringenden elektrischen Feld ist. Zum Messen eines elektrischen Feldes wird ein Pockels-Element aus einem den Pockels-Effekt zeigenden Material in dem elektrischen Feld angeordnet. Zum Messen einer elektrischen Spannung wird die zu messende Spannung an zwei dem Pockels-Element zugeordnete Elektroden angelegt und das entsprechende, anliegende elektrische Feld gemessen. Durch das Pockels-Element wird polarisiertes Meßlicht gesendet, und die Änderung der Polarisierung des polarisierten Meßlichts in Abhängigkeit von der zu messenden Spannung oder dem zu messenden Feld wird mit Hilfe eines Polarisationsanalysators ausgewertet.

Aus der DE-C-34 04 608 ist eine Ausführungsform einer solchen Meßvorrichtung zum Messen der elektrischen Feldstärke bekannt. Eine im zu messenden elektrischen Feld angeordnete Sensoreinrichtung ist über einen ersten Lichtleiter mit einer Lichtquelle und über zwei weitere Lichtleiter mit einer Meßeinrichtung optisch verbunden. Die Sensoreinrichtung besteht aus einer optischen Reihenschaltung einer ersten Linse, eines Polarisators, eines Viertelwellenlängenplättchens ($\lambda/4$ -Plättchen), eines Pockels-Elements, eines polarisierenden Strahlteilers als Analysator und außerdem aus zwei dem Analysator zugeordneten weiteren Linsen. Das Licht der Lichtquelle wird über den ersten Lichtleiter und die erste Linse dem Polarisator zugeführt und vom Polarisator linear polarisiert. Das linear polarisierte Licht erfährt sodann in dem $\lambda/4$ -Plättchen in einer Komponente eine Phasenverschiebung um $\pi/2$ und wird dadurch zirkular polarisiert. Dieses zirkular polarisierte Licht wird in das Pockels-Element eingekoppelt und durch das elektrische Feld im allgemeinen elliptisch polarisiert. Dieses elliptisch polarisierte Licht wird in dem Analysator in zwei linear polarisierte Lichtteilstrahlen A und B mit im allgemeinen senkrecht zueinander gerichteten Polarisationssebenen aufgespalten. Jedes dieser beiden Lichtteilsignale A und B wird über eine der beiden weiteren Linsen in einen der beiden weiteren Lichtleiter eingekoppelt, zu einem zugehörigen photoelektrischen Wandler in der Meßeinrichtung übertragen und dort jeweils in ein elektrisches Signal PA und PB umgewandelt. Aus den beiden elektrischen Signalen PA und PB wird anschließend von einem Rechner der Meßeinrichtung ein intensitätsnormiertes Meßsignal $M = (PA - PB)/(PA + PB)$ abgeleitet. Dieses intensitätsnor-

mierte Meßsignal M ist zum einen proportional zum Modulationsgrad als Maß für die elektrische Feldstärke und zum anderen weitgehend unabhängig von Intensitätsverlusten auf den Übertragungswegen oder Intensitätsschwankungen der Lichtquelle. Der Modulationsgrad ist dabei als Verhältnis von Signal-Ausgangswert zu Ruhe-Ausgangswert des Pockels-Elements definiert. Als Pockels-Element wird ein Kristall aus $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ oder auch $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$ mit Eulytin-Struktur verwendet, der keine optische Aktivität (intrinsische zirkulare Doppelbrechung) zeigt und eine nur relativ schwache Temperaturempfindlichkeit aufweist.

Ein Problem stellen Temperaturänderungen dar, die sich durch zusätzliche lineare Doppelbrechung in den optischen Materialien des Pockels-Elements und der optischen Übertragungstrecken einschließlich des $\lambda/4$ -Plättchens und Änderungen der Meßempfindlichkeit bemerkbar machen können. Ferner sind auch Intensitätsschwankungen des Meßlichts problematisch, weil sie die Meßergebnisse verfälschen. Intensitätsschwankungen können durch Änderungen in der Lichtstärke der Lichtquelle, durch Dämpfung in den optischen Übertragungstrecken und durch lineare Doppelbrechung infolge mechanischer Spannungen, die beispielsweise durch Verbiegen oder Vibrationen hervorgerufen werden, verursacht werden. Die genannten Störeinflüsse führen zu einer unerwünschten Änderung des Arbeitspunktes und der Meßempfindlichkeit der Meßvorrichtung.

Aus der EP-A-0 486 226 ist eine Ausführungsform einer optischen Meßvorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselspannung bekannt, bei der Temperatureinflüsse kompensiert werden. Es ist eine optische Reihenschaltung aus einem Polarisator, einem $\lambda/4$ -Plättchen, einem Pockels-Element und einem polarisierten Strahlteiler als Analysator optisch zwischen einer Lichtquelle und einer Auswerteeinheit geschaltet. Die Reihenfolge von $\lambda/4$ -Plättchen und Pockels-Element in der optischen Reihenschaltung kann allerdings auch vertauscht sein. Das Meßlicht der Lichtquelle wird in dem Polarisator linear polarisiert und nach Durchlaufen des Pockels-Elements in dem Analysator in zwei Lichtteilsignale A und B mit unterschiedlichen Polarisationssebenen aufgespalten. Jedes dieser Lichtteilsignale A und B wird in ein entsprechendes elektrisches Intensitätssignal PA bzw. PB umgewandelt. Sodann wird zur Intensitätsnormierung für jedes dieser beiden elektrischen Intensitätssignale PA und PB der Quotient $QA = PA(AC)/PA(DC)$ bzw. $QB = PB(AC)/PB(DC)$ aus seinem zugehörigen Wechselfeldanteil $PA(AC)$ bzw. $PB(AC)$ und seinem zugehörigen Gleichfeldanteil $PA(DC)$ bzw. $PB(DC)$ gebildet. Aus den beiden intensitätsnormierten Quotienten QA und QB wird nun in einer Recheneinheit ein Meßsignal $M = 1/((\alpha/QA) - ((\beta/QB)))$ gebildet mit den reellen Konstanten α und β . Durch Anpassung dieser Konstanten α und β wird das Meßsignal M weitgehend unabhängig von durch Temperaturänderungen verursachter linearer Doppelbrechung im $\lambda/4$ -Plättchen.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselspannung oder eines elektrischen Wechselfeldes anzugeben, bei denen Einflüsse von Temperaturänderungen auf das Meßsignal weitgehend kompensiert werden.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 11. In eine unter dem Einfluß der elektrischen Wechsel-

spannung oder des elektrischen Wechselfeldes stehende Pockels-Sensoreinrichtung mit einem Pockels-Element wird polarisiertes Meßlicht eingekoppelt. Beim Durchlaufen des Pockels-Elements wird die Polarisierung des Meßlichts in Abhängigkeit von der elektrischen Wechselspannung oder dem elektrischen Wechselfeld geändert. Nach wenigstens einmaligem Durchlaufen der Pockels-Sensoreinrichtung wird das Meßlicht von einem Analysator in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale mit unterschiedlichen Polarisierungsebenen aufgeteilt. Anschließend werden diese beiden Lichtteilsignale jeweils in entsprechende elektrische Intensitätssignale umgewandelt. Jedes dieser beiden elektrischen Intensitätssignale wird mit Hilfe von Filtern in einen Wechsel-signalanteil und einen Gleichsignalanteil zerlegt. Aus wenigstens einem dieser beiden Wechsel-signalanteile wird von ersten Auswertemitteln ein Auswertesignal gebildet, das alle Informationen über die gemessene Wechselspannung oder das gemessene Wechselfeld enthält, jedoch noch temperaturabhängig ist. Aus wenigstens einem der Gleichsignalanteile der beiden Intensitätssignale wird von zweiten Auswertemitteln ein Temperatursignal hergeleitet, das ein eindeutiges Maß für die Temperatur im optischen System ist. Mit dem Temperatursignal wird von dritten Auswertemitteln die Temperaturabhängigkeit des Auswertesignals weitgehend beseitigt und ein weitgehend temperaturkompensiertes Meßsignal für die Wechselspannung oder das Wechselfeld hergeleitet.

Vorteilhafte Ausführungsformen des Meßverfahrens und der Meßvorrichtung ergeben sich aus den jeweils abhängigen Ansprüchen.

In einer ersten vorteilhaften Ausführungsform wird ein Auswertesignal ermittelt, das der Differenz der beiden Wechsel-signalanteile entspricht. In einer anderen Ausführungsform wird das Auswertesignal als Quotient der beiden Wechsel-signalanteile bestimmt. Außerdem kann in einer dritten Ausführungsform einer der beiden Wechsel-signalanteile als Auswertesignal herangezogen werden.

Das Temperatursignal kann entweder als Quotient aus der Differenz und der Summe der beiden Gleich-signalanteile oder als Quotient aus einem der beiden Gleich-signalanteile und der Summe der beiden Gleich-signalanteile oder als eine Differenz oder ein Quotient der beiden Gleich-signalanteile bestimmt werden. Außerdem kann das Temperatursignal auch aus nur einem der Gleich-signalanteile abgeleitet werden.

Ein besonderer Vorteil gemäß der Erfindung besteht darin, daß ein aus dem Temperatursignal ableitbarer Temperaturmeßwert als Information über die Systemtemperatur an einem dafür vorgesehenen Ausgang der dritten Auswertemittel bereitgestellt werden kann.

Eine weitere Lösung der genannten Aufgabe ist mit den Merkmalen des Anspruchs 9 bzw. 17 möglich. Dabei wird ein auf eine vorgegebene Polarisierungsebene projizierter Lichtanteil des durch die Pockels-Sensoreinrichtung wenigstens einmal gelaufenen Meßlichts zur Polarisationsanalyse herangezogen (einkanalige Auswertung). Dazu wird das Meßlicht vorzugsweise einem Polarisationsfilter als Analysator mit einer entsprechend eingestellten Polarisierungsebene zugeführt. Der entsprechende Lichtanteil wird in ein elektrisches Intensitätssignal umgewandelt, das ein Maß für die Lichtintensität des Lichtanteils ist. Das Intensitätssignal wird in einen Wechsel-signalanteil, der die Informationen über die Wechselspannung oder das Wechselfeld enthält, und einen Gleichsignalanteil, der Informationen über die

Temperatur enthält, aufgeteilt. Aus dem Gleichsignalanteil wird ein Temperatursignal für die Systemtemperatur hergeleitet. Mit diesem Temperatursignal und dem Wechsel-signalanteil wird, vorzugsweise mit Hilfe einer vorab ermittelten Wertetabelle oder Eichfunktion, ein weitgehend temperaturunabhängiges Meßsignal für die Wechselspannung oder das Wechselfeld ermittelt.

Zur weiteren Erläuterung der Erfindung wird auf die Zeichnung Bezug genommen, in deren einziger Figur eine Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselspannung schematisch veranschaulicht ist.

Es ist ein Pockels-Element 3 vorgesehen, das unter dem Einfluß der elektrischen Wechselspannung U die Polarisierung von in das Pockels-Element 3 eingestrahlttem polarisiertem Meßlicht in Abhängigkeit von der elektrischen Wechselspannung U ändert. Die zu messende Wechselspannung U ist über zwei Elektroden 35 und 36 an das Pockels-Element 3 anlegbar. In der dargestellten Ausführungsform wird die Wechselspannung U senkrecht zur Lichtausbreitungsrichtung des Meßlichts L angelegt (transversale Ausführungsform). Die Wechselspannung U kann aber auch parallel zur Lichtausbreitungsrichtung angelegt werden (longitudinale Ausführungsform). In das Pockels-Element 3 wird polarisiertes Meßlicht L eingekoppelt. Die Vorrichtung kann in einer nicht dargestellten Ausführungsform auch zum Messen eines elektrischen Wechselfeldes verwendet werden, indem man das Pockels-Element 3 in dem Wechselfeld anordnet. Als Mittel zum Einkoppeln des Meßlichtes L in das Pockels-Element 3 sind eine Lichtquelle 4, beispielsweise eine Leuchtdiode, und ein Polarisator 5 zum linearen Polarisieren des Lichts der Lichtquelle 4 vorgesehen. Die Lichtquelle 4 und der Polarisator 5 sind vorzugsweise über einen Lichtleiter 43, beispielsweise eine Multimode-Lichtfaser, optisch miteinander verbunden, können aber auch durch eine Freistrahlkopplung optisch miteinander gekoppelt sein. Zum Koppeln des Lichts aus dem Lichtleiter 43 in den Polarisator 5 ist vorzugsweise eine Kollimatorlinse (Grin-lens) 25 vorgesehen. Aus dem Polarisator 5 wird das nun linear polarisierte Meßlicht L in das Pockels-Element 3 eingekoppelt.

Das polarisierte Meßlicht L durchläuft das Pockels-Element 3 wenigstens einmal und erfährt dabei aufgrund des elektrooptischen Pockels-Effekts eine von der elektrischen Wechselspannung U abhängige Änderung seiner Polarisierung. Nach Durchlaufen des Pockels-Elements 3 wird das Meßlicht L über ein $\lambda/4$ -Plättchen 6 dem Analysator 7 zugeführt. Das $\lambda/4$ -Plättchen 6 verschiebt zwei in ihren elektrischen Feldvektoren im allgemeinen senkrecht zueinander gerichtete Lichtanteile in ihrer Phase um ein Viertel der Wellenlänge λ gegeneinander. Das Pockels-Element 3 und das $\lambda/4$ -Plättchen 6 bilden zusammen eine Pockels-Sensoreinrichtung. In dem Analysator 7 wird das Meßlicht L in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale $LS1$ und $LS2$ zerlegt, deren Polarisierungsebenen verschieden voneinander sind. Vorzugsweise sind die Polarisierungsebenen der beiden Lichtteilsignale $LS1$ und $LS2$ senkrecht zueinander gerichtet (orthogonale Zerlegung). Als Analysator 7 können ein polarisierender Strahlteiler, beispielsweise ein Wollaston-Prisma, oder auch zwei um einen vorgegebenen Winkel, vorzugsweise 90° , gekreuzte Polarisationsfilter und ein vorgeschalteter einfacher Strahlteiler vorgesehen sein. Der Analysator 7 und das $\lambda/4$ -Plättchen 6 können wie dargestellt räumlich unmittelbar nebeneinander angeordnet sein oder auch über eine Freistrahlordnung in räumlicher Entfer-

nung zueinander oder einen polarisationserhaltenden Lichtleiter optisch verbunden sein.

Der Arbeitspunkt der Meßvorrichtung wird vorzugsweise so eingestellt, daß am Analysator 7 zirkular polarisiertes Meßlicht anliegt, wenn am Pockels-Element 3 keine elektrische Spannung oder kein elektrisches Feld anliegt. Die beiden Eigenachsen der linearen Doppelbrechung im Pockels-Element 3 sind in diesem Fall vom Meßlicht L "gleichmäßig ausgeleuchtet". Das bedeutet, daß die auf die beiden Eigenachsen projizierten Komponenten des Meßlichts L jeweils die gleiche Intensität aufweisen. Im allgemeinen sind dann die beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 ebenfalls gleich stark in ihrer Intensität, und das intensitätsnormierte Signal P ist gleich Null für $U = 0$ V. Bei Anlegen einer Wechselspannung $U \neq 0$ V an das Pockels-Element 3 werden die Komponenten des Meßlichts L entlang der elektrooptisch aktiven Eigenachsen der linearen Doppelbrechung des Pockels-Elements 3 in ihrer Intensität in Abhängigkeit von der Wechselspannung U geändert.

Die beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 des Analysator 7 werden vorzugsweise über jeweils eine Kollimatorlinse 71 bzw. 72 in jeweils einen Lichtleiter 75 bzw. 76 eingekoppelt und über diesen Lichtleiter 75 bzw. 76 jeweils einem photoelektrischen Wandler 12 bzw. 22 zugeführt. Als Wandler 12 und 22 können beispielsweise in Verstärkerkreise geschaltete Photodioden vorgesehen sein. In den Wandlern 12 und 22 werden die beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 jeweils in ein elektrisches Intensitätssignal S1 bzw. S2 umgewandelt, das ein Maß für die Intensität des zugehörigen Lichtteilsignals LS1 bzw. LS2 ist.

Die Übertragung der beiden Lichtteilsignale LS1 und LS2 vom Analysator 7 zu dem jeweils zugehörigen Wandler 12 bzw. 22 kann auch über eine Freistrahlanordnung erfolgen.

Anstelle der in der Figur dargestellten optischen Reihenschaltung des Polarisators 5, des Pockels-Elements 3, des $\lambda/4$ -Plättchens 6 und des Analysators 7 kann auch eine optische Reihenschaltung aus dem Polarisator 5, dem $\lambda/4$ -Plättchen 6, dem Pockels-Element 3 und dem Analysator 7 vorgesehen sein, also die Reihenfolge des $\lambda/4$ -Plättchens 6 und des Pockels-Elements 3 gerade vertauscht sein. In diesem Fall wird das Meßlicht L vor dem Einkoppeln in das Pockels-Element 3 zirkular polarisiert. Das Pockels-Element 3 und der Analysator 7 können in diesem Fall über eine Freistrahlanordnung, insbesondere in unmittelbarem räumlichem Kontakt, oder auch über einen polarisationserhaltenden Lichtleiter, vorzugsweise eine Monomode-Lichtfaser wie beispielsweise eine HiBi(High Birefringence)-Faser oder eine polarisationsneutrale LoBi(Low Birefringence)-Faser, optisch miteinander verbunden sein.

Außerdem können anstelle der Lichtquelle 4 und des Polarisators 5 auch eine Lichtquelle zum Senden linear polarisierten Lichts wie beispielsweise eine Laserdiode und gegebenenfalls zusätzliche, nicht dargestellte polarisierende Mittel vorgesehen sein zum Einkoppeln von polarisiertem Meßlicht L in das Pockels-Element 3 bzw. das $\lambda/4$ -Plättchen 6. Der Lichtleiter 43 ist dann vorzugsweise ein polarisationserhaltender Lichtleiter.

In jedem Fall ist die das Pockels-Element 3 und das $\lambda/4$ -Plättchen 6 umfassende Pockels-Sensoreinrichtung optisch zwischen die Mittel zum Einkoppeln von polarisiertem Meßlicht L und den Analysator 7 geschaltet.

Ein Problem bereiten nun Änderungen der Temperatur und die damit verbundene Verschiebung des Arbeitspunktes und Änderung der Meßempfindlichkeit

der Meßvorrichtung. Insbesondere die temperaturinduzierte lineare Doppelbrechung in den optischen Materialien der optischen Meßvorrichtung, insbesondere des Pockels-Elements 3 oder auch des $\lambda/4$ -Plättchens 6 führt zu Meßfehlern. Die temperaturinduzierten Meßfehler werden nun durch im folgenden beschriebene Maßnahmen zur Temperaturkompensation weitgehend kompensiert.

Zur Temperaturkompensation werden die beiden Intensitätssignale S1 und S2 zunächst jeweils in einen Wechselsignalanteil A1 bzw. A2 und einen Gleichsignalanteil D1 bzw. D2 zerlegt. Die Wechselsignalanteile A1 und A2 enthalten die Informationen über die Wechselspannung U. Zum Zerlegen der Intensitätssignale S1 und S2 in ihre jeweiligen Wechselsignalanteile A1 bzw. A2 und Gleichsignalanteile D1 bzw. D2 sind in der dargestellten Ausführungsform zwei Tiefpaßfilter 10 und 20 und zwei Hochpaßfilter 11 und 21 vorgesehen. Die Eingänge des ersten Tiefpaßfilters 10 und des ersten Hochpaßfilters 11 sind jeweils mit dem Ausgang des Wandlers 12 elektrisch verbunden, und die Eingänge des zweiten Tiefpaßfilters 20 und des zweiten Hochpaßfilters 21 sind jeweils mit dem Ausgang des Wandlers 22 elektrisch verbunden. Die Tiefpaßfilter 10 und 20 lassen nur die Gleichsignalanteile (DC-Signale) D1 bzw. D2 und die Hochpaßfilter 11 und 21 nur die Wechselsignalanteile (AC-Signale) A1 bzw. A2 der Intensitätssignale S1 bzw. S2 durch, die dann jeweils an einem Ausgang der Filter abgegriffen werden können. In einer nicht dargestellten Ausführungsform können die Wechselsignalanteile A1 und A2 auch, beispielsweise mit Hilfe eines analogen Subtrahierers, durch Subtraktion der Gleichsignalanteile D1 und D2 von den Intensitätssignalen S1 und S2 erhalten werden, da $S1 = A1 + D1$ und $S2 = A2 + D2$ gilt. Umgekehrt können auch erst die Wechselsignalanteile A1 und A2 mit Hilfe von Filtern erhalten werden und dann die Gleichsignalanteile D1 und D2 durch Subtraktion der Wechselsignalanteile A1 und A2 von den Intensitätssignalen S1 und S2 bestimmt werden. Die Trennfrequenzen der Filter 10, 11, 20 und 21 sind so eingestellt, daß die Wechselsignalanteile A1 und A2 alle Informationen, also insbesondere das gesamte Frequenzspektrum, über die zu messenden Wechselspannungen U oder Wechselfelder enthalten.

Wenigstens ein und vorzugsweise beide Wechselsignalanteile A1 und A2 werden ersten Auswertemitteln 31 und wenigstens ein und vorzugsweise beide Gleichsignalanteile D1 und D2 zweiten Auswertemitteln 30 zugeführt. Die ersten Auswertemittel 31 sind dazu in der dargestellten Ausführungsform mit den beiden Hochpaßfiltern 11 und 21 und die zweiten Auswertemittel 30 mit den beiden Tiefpaßfiltern 10 und 20 jeweils elektrisch verbunden. Die ersten Auswertemittel 31 bilden aus wenigstens einem Wechselsignalanteil A1 oder A2 und vorzugsweise aus beiden Wechselsignalanteilen A1 und A2 ein Auswertesignal S, das von der am Pockels-Element 3 anliegenden Wechselspannung U oder einem Wechselfeld abhängt, jedoch im allgemeinen auch temperaturabhängig ist. Die zweiten Auswertemittel 30 leiten aus mindestens einem der beiden Gleichsignalanteile D1 oder D2 und vorzugsweise aus beiden Gleichsignalanteilen D1 und D2 ein Temperatursignal T ab, das ein Maß für die Temperatur des optischen Systems ist.

Das Auswertesignal S kann als eine Differenz $A1 - A2$ oder $A2 - A1$ der beiden Wechselsignalanteile A1 und A2 oder auch als ein Quotient $A1/A2$ oder $A2/A1$ der beiden Wechselsignalanteile A1 und A2 bestimmt werden. In einer einfachen Ausführungsform

kann als Auswertesignal S auch unmittelbar einer der beiden Wechselsignalanteile A1 oder A2 herangezogen werden.

Das Temperatursignal T kann als Quotient $(D1 - D2)/(D1 + D2)$ aus einer Differenz und der Summe der beiden Gleichsignalanteile D1 und D2 oder als Quotient $D1/(D1 + D2)$ oder $D2/(D1 + D2)$ aus einem der beiden Gleichsignalanteile D1 oder D2 und der Summe der beiden Gleichsignalanteile D1 und D2 ermittelt werden. Alternativ dazu kann auch ein Temperatursignal T abgeleitet werden, das einer Differenz $D1 - D2$ oder $D2 - D1$ oder einem Quotienten $D1/D2$ oder $D2/D1$ der beiden Gleichsignalanteile D1 und D2 entspricht. In einer einfachen Ausführungsform kann auch einer der beiden Gleichsignalanteile D1 oder D2 allein als Temperatursignal T herangezogen werden. Alle diese Temperatursignale T sind eindeutig von der Temperatur in einem vorgegebenen Temperaturbereich abhängig.

Zur Berechnung des Auswertesignals S und des Temperatursignals T können die ersten und zweiten Auswertemittel 31 und 32 analoge arithmetische Bausteine oder Analog/Digital-Wandler zum Digitalisieren der Wechselsignalanteile A1 und A2 bzw. der Gleichsignalanteile D1 und D2 und digitale Recheneinheiten wie digitale Signalprozessoren (DSP) oder Mikroprozessoren enthalten.

Ferner sind dritte Auswertemittel 32 vorgesehen, die mit den ersten Auswertemitteln 31 und den zweiten Auswertemitteln 30 jeweils elektrisch verbunden sind. Die dritten Auswertemittel 32 leiten aus dem noch temperaturabhängigen Auswertesignal S mit Hilfe des Temperatursignals T ein weitgehend temperaturunabhängiges Meßsignal M für die Wechselspannung U her, das an einem Ausgang 32A der dritten Auswertemittel 32 ansteht. Dazu enthalten die dritten Auswertemittel 32 vorzugsweise eine in wenigstens einem Speicher gespeicherte Wertetabelle oder Eichfunktion, die jeweils experimentell ermittelt oder theoretisch durch Funktionsfitting angenähert wurde und einem Wertepaar eines aktuellen Auswertesignals S und eines aktuellen Temperatursignals T ein Meßsignal M als Funktionswert zuordnet, sowie vorzugsweise digitale Mittel zum Vergleichen der aktuellen mit den gespeicherten Werten.

In einer vorteilhaften Ausführungsform leiten die dritten Auswertemittel 32, beispielsweise mit Hilfe einer weiteren Wertetabelle oder Eichkurve, aus dem Temperatursignal T einen Temperaturmeßwert TX her, der der aktuellen Temperatur im optischen System, insbesondere der Pockels-Sensoreinrichtung, entspricht. Dieser Temperaturmeßwert TX wird an einem weiteren Ausgang 32B der dritten Auswertemittel bereitgestellt.

Eine Temperaturkompensation gemäß der Erfindung ist in einer nicht dargestellten Ausführungsform auch möglich, wenn der Polarisationszustand des Meßlichts nach wenigstens einmaligem Durchlaufen der Pockels-Sensoreinrichtung nicht mit Hilfe einer Zerlegung in zwei unterschiedlich linear polarisierte Lichtteilsignale, sondern durch Herausfiltern nur eines, auf eine vorgegebene Polarisationssebene projizierten, linearen Lichtanteils analysiert wird. Als Analysator kann ein Polarisationsfilter mit einer entsprechend eingestellten Polarisationssebene vorgesehen sein. Der vom Analysator herausgefilterte projizierte Lichtanteil wird von einem photoelektrischen Wandler in ein elektrisches Intensitätssignal als Maß für die Lichtintensität des Lichtanteils umgewandelt. Dieses Intensitätssignal wird beispiels-

weise mit Hilfe eines Filters in einen Wechselsignalanteil und einen Gleichsignalanteil zerlegt. Der Wechselsignalanteil enthält dabei das gesamte Frequenzspektrum der zu messenden Wechselspannung bzw. des Wechselfeldes und ist noch temperaturabhängig. Der Gleichsignalanteil ist dagegen unabhängig von der Wechselspannung bzw. dem Wechselfeld und zugleich ein eindeutiges Maß für die Temperatur in einem vorbestimmten Temperaturbereich. Aus dem Gleichsignalanteil wird deshalb ein Temperatursignal hergeleitet, mit dem die Temperaturabhängigkeit des Wechselsignalanteils weitgehend beseitigt wird. Das Temperatursignal kann insbesondere gleich dem Gleichsignalanteil selbst sein. Aus dem Temperatursignal und dem Wechselsignalanteil wird vorzugsweise mit Hilfe einer Wertetabelle oder einer Eichfunktion ein weitgehend temperaturkompensiertes Meßsignal für die Wechselspannung bzw. das Wechselfeld abgeleitet. Die Wertetabelle oder Eichfunktion ordnet dem Wertepaar aus Temperatursignal und Wechselsignalanteil einen zugehörigen Meßsignalwert zu und kann experimentell durch Eichmessungen oder auch durch theoretische Annäherung durch eine Fit-Funktion ermittelt sein.

Die vorbeschriebenen Ausführungsformen des Temperaturkompensationsverfahrens gemäß der Erfindung sind auch für an sich bekannte magnetooptische Meßverfahren und Meßvorrichtungen zum Messen eines elektrischen Wechselstromes unter Ausnutzung des Faraday-Effekts geeignet. Bei solchen Verfahren und Vorrichtungen wird linear polarisiertes Meßlicht durch einen Stromleiter zugeordnete Faraday-Sensoreinrichtung geschickt, und beim Durchlaufen der Faraday-Sensoreinrichtung wird die Polarisationssebene des Meßlichts in Abhängigkeit von einem Strom in dem Stromleiter durch das von diesem Strom erzeugte Magnetfeld gedreht. Diese Drehung der Polarisationssebene wird mit einem Polarisationsanalysator analysiert. Dazu wird das Meßlicht nach wenigstens einmaligem Durchlaufen der Faraday-Sensoreinrichtung aus der Faraday-Sensoreinrichtung ausgekoppelt und mittels eines Analysators bezüglich seines Polarisationszustandes analysiert. Als Analysator können wieder Mittel zum Zerlegen des Meßlichts in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale (zweikanalige Auswertung), beispielsweise ein Wollaston-Prisma, oder ein Polarisationsfilter (einkanalige Auswertung) vorgesehen sein. Mit den erhaltenen Lichtteilsignalen bzw. dem projizierten Lichtanteil wird nun in gleicher Weise verfahren wie mit den beiden Lichtteilsignalen LS1 und LS2 bzw. dem projizierten Lichtanteil bei den vorbeschriebenen Ausführungsbeispielen zur Spannungsmessung. Zunächst werden die beiden Lichtteilsignale bzw. der projizierte Lichtanteil also jeweils photoelektrisch in ein elektrisches Intensitätssignal umgewandelt, und dann werden die zugehörigen beiden Intensitätssignale bzw. das eine zugehörige Intensitätssignal jeweils in ihren Wechselsignalanteil und ihren Gleichsignalanteil zerlegt. Aus wenigstens einem der beiden Wechselsignalanteile bzw. dem Wechselsignalanteil wird ein noch temperaturabhängiges Auswertesignal für den Wechselstrom hergeleitet. Zugleich wird ein Temperatursignal für die Temperatur T aus wenigstens einem der beiden Gleichsignalanteile bzw. dem Gleichsignalanteil hergeleitet. Mit diesem Temperatursignal wird die Temperaturabhängigkeit des Auswertesignals bzw. des Wechselsignalanteils als Auswertesignal für den Wechselstrom beseitigt und ein weitgehend temperaturunabhängiges Meßsignal für den Wechselstrom ermittelt. Zum Ableiten des Tempe-

ratursignals aus den entsprechenden Gleichsignalanteilen, dem Auswertesignal als vorläufigem Meßsignal aus den entsprechenden Wechsellsignalanteilen und dem temperaturkompensierten Meßsignal aus dem Auswertesignal und dem Temperatursignal können alle vorne für die Messung einer Wechselspannung oder eines Wechselfeldes beschriebenen Ausführungsformen verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen einer elektrischen Wechselspannung (U) oder eines elektrischen Wechselfeldes unter Ausnutzung des Pockels-Effekts mit folgenden Merkmalen:

a) Es wird polarisiertes Meßlicht (L) in eine unter dem Einfluß der elektrischen Wechselspannung (U) oder des elektrischen Wechselfeldes stehende Pockels-Sensoreinrichtung mit wenigstens einem Pockels-Element (3) eingekoppelt;

b) das Meßlicht (L) wird nach wenigstens einmaligem Durchlaufen der Pockels-Sensoreinrichtung von einem Analysator (7) in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale (LS1, LS2) mit unterschiedlichen Polarisationssebenen aufgeteilt;

c) die beiden Lichtteilsignale (LS1, LS2) werden jeweils in ein elektrisches Intensitätssignal (S1, S2) umgewandelt, das ein Maß für die Lichtintensität des zugehörigen Lichtteilsignals (LS1, LS2) ist;

d) jedes der beiden elektrischen Intensitätssignale (S1, S2) wird in einen Wechsellsignalanteil (A1, A2) und einen Gleichsignalanteil (D1, D2) zerlegt;

e) aus wenigstens einem der beiden Wechsellsignalanteile (A1, A2) der beiden Intensitätssignale (S1, S2) wird ein Auswertesignal (S) abgeleitet, das von der Wechselspannung oder dem Wechselfeld abhängt;

f) aus wenigstens einem der Gleichsignalanteile (D1, D2) der beiden Intensitätssignale (S1, S2) wird ein Temperatursignal (T) abgeleitet, das ein eindeutiges Maß für die Temperatur ist;

g) aus dem Auswertesignal (S) und dem Temperatursignal (T) wird ein weitgehend temperaturunabhängiges Meßsignal (M) für die elektrische Wechselspannung (U) oder das elektrische Wechselfeld ermittelt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Temperatursignal (T) dem Quotienten $(D1/(D1 + D2), D2/(D1 + D2), (D1 - D2)/(D1 + D2))$ aus einem der beiden Gleichsignalanteile (D1, D2) oder einer Differenz der beiden beiden Gleichsignalanteile (D1, D2) einerseits und der Summe der beiden Gleichsignalanteile (D1, D2) andererseits entspricht.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Temperatursignal (T) eine Differenz $(D1 - D2)$ der beiden Gleichsignalanteile (D1 und D2) herangezogen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Temperatursignal (T) ein Quotient $(D1/D2)$ der beiden Gleichsignalanteile (D1 und D2) herangezogen wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem als Temperatursignal (T) einer der beiden Gleichsignalanteile (D1 oder D2) herangezogen wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Auswertesignal (S) einem der beiden Wechsellsignalanteile (A1 oder A2) entspricht.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Auswertesignal (S) einer Differenz $(A1 - A2)$ der beiden Wechsellsignalanteile (A1, A2) entspricht.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Auswertesignal (S) einem Quotienten $(A1/A2)$ der beiden Wechsellsignalanteile (A1, A2) entspricht.

9. Verfahren zum Messen einer elektrischen Wechselspannung (U) oder eines elektrischen Wechselfeldes unter Ausnutzung des Pockels-Effekts mit folgenden Merkmalen:

a) Es wird polarisiertes Meßlicht in eine unter dem Einfluß der elektrischen Wechselspannung oder des elektrischen Wechselfeldes stehende Pockels-Sensoreinrichtung mit wenigstens einem Pockels-Element eingekoppelt;

b) das Meßlicht wird nach wenigstens einmaligem Durchlaufen der Pockels-Sensoreinrichtung einem Analysator zugeführt, der einen auf eine vorgegebene Polarisationssebene des Analysators projizierten Lichtanteil des Meßlichts ermittelt;

c) dieser Lichtanteil des Meßlichts wird in ein elektrisches Intensitätssignal umgewandelt, das ein Maß für die Lichtintensität des Lichtanteils ist;

d) dieses elektrische Intensitätssignal wird in einen Wechsellsignalanteil und einen Gleichsignalanteil zerlegt;

e) aus dem Gleichsignalanteil wird ein Temperatursignal abgeleitet, das ein eindeutiges Maß für die Temperatur ist;

f) aus dem Wechsellsignalanteil als Auswertesignal und dem Temperatursignal wird ein weitgehend temperaturunabhängiges Meßsignal für die elektrische Wechselspannung oder das elektrische Wechselfeld ermittelt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Meßsignal (M) aus dem Auswertesignal (S) und dem Temperatursignal (T) mit Hilfe einer vorab ermittelten Wertetabelle oder Eichkurve ermittelt wird.

11. Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselspannung (U) oder eines elektrischen Wechselfeldes mit

a) Mitteln (4, 34) zum Einkoppeln von polarisiertem Meßlicht (L) in eine unter dem Einfluß der Wechselspannung (U) oder des Wechselfeldes stehende Pockels-Sensoreinrichtung mit wenigstens einem Pockels-Element (3), das die Polarisierung des Meßlichts (L) in Abhängigkeit von der Wechselspannung (U) oder dem Wechselfeld ändert,

b) einem Analysator (7) zum Aufteilen des Meßlichts (L) nach wenigstens einmaligem Durchlaufen der Pockels-Sensoreinrichtung in zwei linear polarisierte Lichtteilsignale (LS1, LS2) mit unterschiedlichen Polarisationssebenen,

c) photoelektrischen Wandlern (12, 22) zum Umwandeln der beiden Lichtteilsignale (LS1, LS2) in jeweils ein elektrisches Intensitätssignal (S1, S2), das ein Maß für die Intensität des

zugehörigen Lichtteilsignale (LS1, LS2) ist,

d) Mitteln (10, 11, 20, 21) zum Zerlegen der beiden Intensitätssignale (S1, S2) in jeweils einen Wechsignalsignalanteil (A1, A2) und einen Gleichsignalsignalanteil (D1, D2)

e) ersten Auswertemitteln (31) zum Ableiten eines Auswertesignals (S), das von der Wechselspannung oder dem Wechselfeld abhängt, aus wenigstens einem der beiden Wechsignalsignalanteile (A1, A2);

e) zweiten Auswertemitteln (30) zum Ableiten eines Temperatursignals (T), das ein eindeutiges Maß für die Temperatur ist, aus wenigstens einem der beiden Gleichsignalsignalanteile (D1, D2);

f) dritten Auswertemitteln (32) zum Ermitteln eines weitgehend temperaturunabhängigen Meßsignals (M) für die elektrische Wechselspannung (U) oder das elektrische Wechselfeld aus dem Auswertesignal (S) und dem Temperatursignal (T).

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, bei der die dritten Auswertemittel (32) aus dem Temperatursignal (T) einen Temperaturmeßwert (TX) ermitteln, der an einem Ausgang (3 OB) der dritten Auswertemittel (32) abgreifbar ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder Anspruch 12, bei der die zweiten Auswertemittel (30) das Temperatursignal (T) als Quotient $((D1 - D2)/(D1 + D2), D1/(D1 + D2), D2/(D1 + D2))$ aus einem der beiden Gleichsignalsignalanteile (D1, D2) oder einer Differenz der beiden Gleichsignalsignalanteile (D1, D2) und der Summe der beiden Gleichsignalsignalanteile (D1, D2) ableiten.

14. Vorrichtung nach Anspruch 11 oder Anspruch 12, bei der die zweiten Auswertemittel (30) als Temperatursignal (T) eine Differenz (D1 - D2) oder einen Quotienten (D1/D2) der beiden Gleichsignalsignalanteile (D1 und D2) ableiten.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, bei der die ersten Auswertemittel (31) als Auswertesignal (S) einen der beiden Wechsignalsignalanteile (A1 oder A2) heranziehen.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 14, bei dem die ersten Auswertemittel (31) als Auswertesignal (S) eine Differenz (A1 - A2) oder einen Quotienten (A1/A2) der beiden Wechsignalsignalanteile (A1, A2) ableiten.

17. Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselspannung oder eines elektrischen Wechselfeldes mit

a) Mitteln zum Einkoppeln von polarisiertem Meßlicht in eine unter dem Einfluß der Wechselspannung oder des Wechselfeldes stehende Pockels-Sensoreinrichtung mit wenigstens einem Pockels-Element, das die Polarisation des Meßlichts in Abhängigkeit von der Wechselspannung oder dem Wechselfeld ändert,

b) einem Analysator, der aus dem wenigstens einmal durch die Pockels-Sensoreinrichtung gelaufenen Meßlicht einen auf eine vorgegebene Polarisationssebene des Analysators projizierten, linear polarisierten Lichtanteil auskoppelt;

c) einem photoelektrischen Wandler zum Umwandeln des ausgekoppelten Lichtanteils des Meßlichts in ein elektrisches Intensitätssignal, das ein Maß für die Lichtintensität des Licht-

anteils ist;

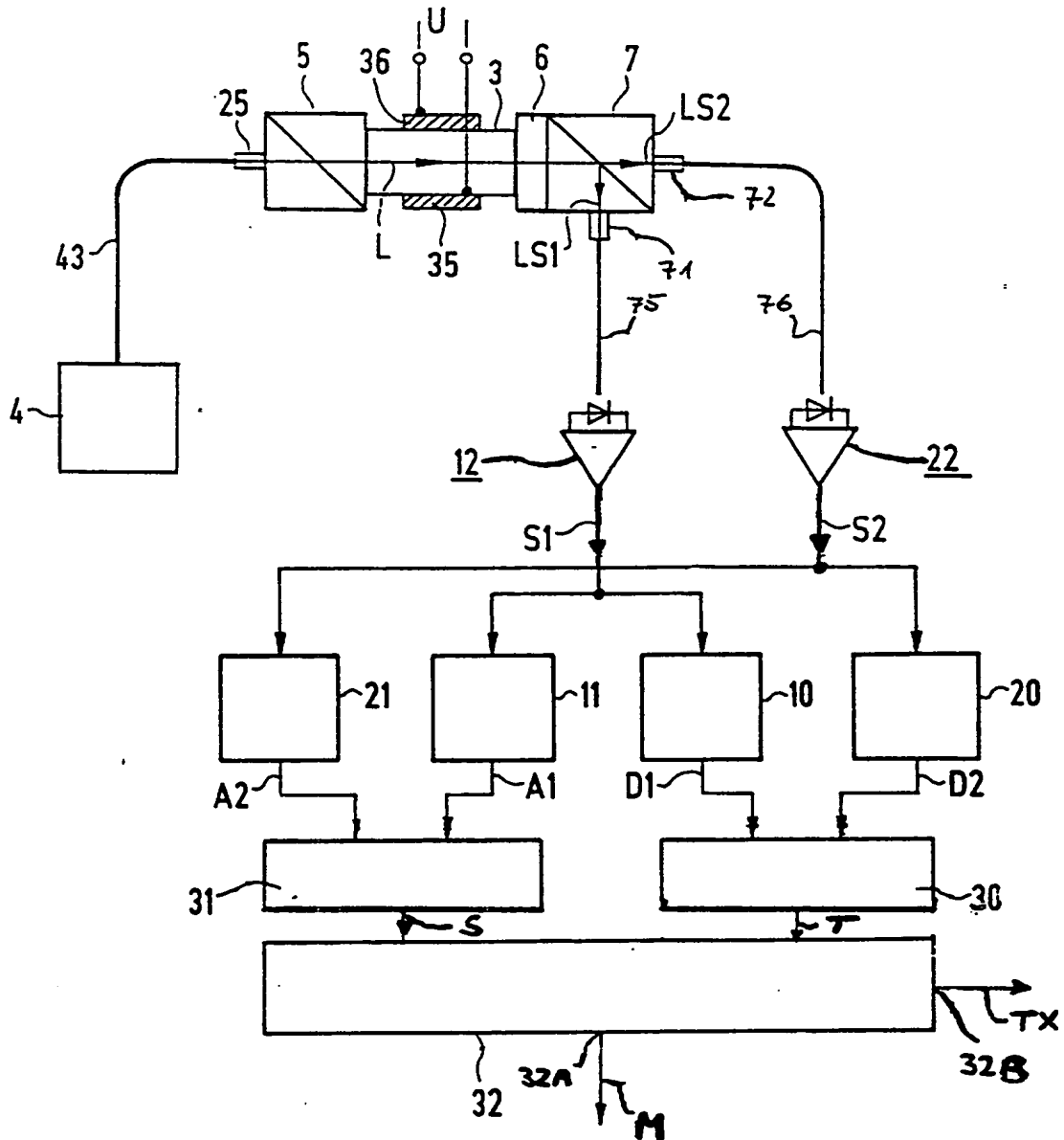
d) Mitteln zum Zerlegen des elektrischen Intensitätssignals in einen Wechsignalsignalanteil und einen Gleichsignalsignalanteil;

e) Mitteln zum Ableiten eines Temperatursignals für die Temperatur aus dem Gleichsignalsignalanteil;

f) Mitteln zum Ermitteln eines weitgehend temperaturunabhängigen Meßsignals für die elektrische Wechselspannung oder das elektrische Wechselfeld aus dem Wechsignalsignalanteil als Auswertesignal und dem Temperatursignal.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 11 bis 17, bei der die dritten Auswertemittel (32) bzw. Mittel zum Ermitteln des Meßsignals (M) eine gespeicherte Wertetabelle oder Eichkurve enthalten.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☐ FADED TEXT OR DRAWING

☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.